

**Comparaison entre les modèles géologiques  
3D faillé et non-faillé pour les calculs de  
capacités effectives de stockage géologique  
du CO<sub>2</sub> dans le bassin des Basses-Terres du  
Saint-Laurent**

**R-1440**

*Juin 2013*



**SÉQUESTRATION GÉOLOGIQUE DU CO<sub>2</sub>**  
CHAIRE DE RECHERCHE

**INRS**  
Institut national de la recherche scientifique



**Comparaison entre les modèles géologiques 3D faillé et non-faillé  
pour les calculs de capacités effectives de stockage géologique du  
CO<sub>2</sub> dans le bassin des Basses-Terres du Saint-Laurent**

**RAPPORT FINAL  
INRSCO2-2013-V3.2**

**Par**

**Karine Bédard, Félix-Antoine Comeau et Michel Malo**

**Soumis au Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs**

**Juin 2013 – Québec**

**R-1440**

Institut national de la recherche scientifique – Centre Eau Terre Environnement, 490 de la Couronne, Québec, Qc, G1K 9A9

Téléphone : (418) 654-2535 ; Télécopieur : (418) 654-2600 ; Site internet : [chaireco2.ete.inrs.ca](http://chaireco2.ete.inrs.ca)



## TABLE DES MATIÈRES

PRÉAMBULE .....	5
SOMMAIRE .....	6
<b>1. INTRODUCTION .....</b>	<b>7</b>
1.1. Choix du bassin pour les calculs de capacité de stockage de CO <sub>2</sub> .....	7
1.1.1. Critères favorables pour le stockage géologique du CO <sub>2</sub> dans les Basses-Terres du Saint-Laurent .....	7
1.2. Géologie du bassin des Basses-Terres du Saint-Laurent.....	9
<b>2. MODÈLES GÉOLOGIQUES 3D DES BASSES-TERRES DU SAINT-LAURENT .....</b>	<b>11</b>
2.1. Modèle géologique 3D non-faillé.....	11
2.3. Modèle géologique 3D faillé .....	13
<b>3. CAPACITÉ EFFECTIVE DE STOCKAGE DES BASSES-TERRES DU SAINT-LAURENT.....</b>	<b>16</b>
3.1. Méthodologie de calcul de la capacité effective de stockage .....	16
3.2. Spécificités de la méthodologie au Québec .....	17
3.2.1. Profondeur .....	17
3.2.2. Facteur d'efficacité.....	18
3.2.3. Porosité .....	18
3.2.4. Volume .....	18
3.2.5. Température .....	20
3.2.6. Pression .....	20
3.2.7. Densité du CO <sub>2</sub> .....	20
3.3. Capacités effectives de stockage du CO <sub>2</sub> calculées.....	22
<b>4. CONCLUSIONS.....</b>	<b>25</b>
<b>RÉFÉRENCES .....</b>	<b>28</b>



## Préambule

Le Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP) a octroyé une subvention à l'INRS-ETE pour mettre en place une chaire de recherche sur la séquestration géologique du CO<sub>2</sub> au Québec. Le décret n° 714-2008 approuvant l'octroi a été adopté le 25 juin 2008. La subvention d'une durée de cinq ans (exercices financiers 2008-2009 à 2012-2013) provient du Fonds vert. La création de la chaire s'inscrit dans l'action 20 du Plan d'action 2006-2012 sur les changements climatiques intitulé « Le Québec et les changements climatiques, un défi pour l'avenir ».

Les travaux de la chaire permettront d'explorer les principales options de séquestration géologique du CO<sub>2</sub> au Québec. Les objectifs principaux sont d'évaluer la capacité de stockage du CO<sub>2</sub> au Québec, de tester quelques sites pour leur potentiel de rétention du CO<sub>2</sub> après injection, et de former une expertise au Québec dans le domaine de la technologie du captage et de la séquestration du CO<sub>2</sub> (CSC). Les objectifs secondaires pour arriver à répondre aux objectifs principaux sont de: 1) faire l'inventaire des réservoirs géologiques potentiels au Québec; 2) faire l'inventaire des sources majeures d'émission de CO<sub>2</sub> au Québec; 3) compiler les travaux réalisés ailleurs dans le monde sur la technologie du CSC; 4) caractériser les paramètres géologiques et géophysiques des réservoirs potentiels; 5) évaluer leur capacité de stockage; 6) choisir des sites potentiels pour réaliser des essais d'injection de CO<sub>2</sub>; 7) tester un ou deux sites avec suivi sur une période d'un à deux ans pour évaluer la capacité de rétention du CO<sub>2</sub> et les risques de fuite. En marge de l'atteinte des objectifs mentionnés plus haut, les travaux complémentaires concernent l'évaluation des enjeux socio-économiques de l'implantation de la technologie du CSC au Québec (lois, sécurité, etc.) et des études technico-économiques pour l'implantation d'une usine pilote.

Les cinq volets de recherche suivants permettront d'atteindre les objectifs et de réaliser les travaux complémentaires :

1. Inventaire
2. Caractérisation
3. Capacité de stockage
4. Test-pilote
5. Enjeux socio-économiques

Le présent rapport sur l'estimation de la capacité de stockage du bassin des Basses-Terres du Saint-Laurent cadre dans le volet capacité de stockage.

## Sommaire

Le bassin sédimentaire des Basses-Terres du Saint-Laurent est celui qui présente le plus grand potentiel pour le stockage géologique du CO<sub>2</sub> dans le sud du Québec. Ce bassin contient d'excellents ensembles réservoir-couverture, une grande quantité de données sismiques et de puits est disponible, l'accessibilité est facile et les infrastructures sont bien développées. De plus, des aquifères salins sont présents en profondeur au sein de la séquence sédimentaire et constituent les cibles pour le stockage du CO<sub>2</sub>.

La capacité effective de stockage géologique du CO<sub>2</sub> dans les aquifères salins du bassin des Basses-Terres du Saint-Laurent a été évaluée à l'aide de modèles géologiques 3D qui ont permis de calculer les volumes des unités d'intérêt de même que la densité du CO<sub>2</sub> en tout point du modèle en fonction des gradients de température et de pression. À des fins de comparaisons, deux modèles ont été utilisés : un modèle non-faillé et un modèle faillé plus complexe. L'objectif étant de déterminer si la construction et l'utilisation d'un modèle plus complexe et plus près de la réalité s'avèrent pertinentes pour l'évaluation des capacités de stockage à l'échelle d'un bassin.

La capacité effective des formations de Cairnside et de Covey Hill a été calculée à l'aide de la densité du CO<sub>2</sub>, de la porosité moyenne des unités géologiques, du volume de ces unités et des facteurs d'efficacité pour le stockage du CO<sub>2</sub> dans les aquifères salins. La Formation de Cairnside étant plus mince et moins poreuse que la Formation de Covey Hill, sa capacité effective de stockage du CO<sub>2</sub> est moindre peu importe le modèle 3D utilisé. Pour l'ensemble du bassin, la capacité effective de stockage est estimée à 0,7 à 8,58 gigatonnes de CO<sub>2</sub> en fonction des différents facteurs d'efficacité utilisés et des modèles 3D. Étant donné que les grands émetteurs génèrent près de 20 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> par année dans la province de Québec, le bassin des Basses-Terres du Saint-Laurent peut théoriquement emmagasiner les émissions de CO<sub>2</sub> de la province pour une période allant de 35 à 429 ans. En général, les capacités effectives calculées à l'aide du modèle non-faillé sont environ 13% inférieures à celles obtenues à l'aide du modèle faillé plus complexe.



## 1. Introduction

Selon le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC ou IPCC : *Intergovernmental Panel on Climate Change*), le réchauffement climatique serait très probablement d'origine anthropique et aurait comme principale cause l'augmentation des émissions de gaz à effet de serre dans l'atmosphère (IPCC, 2007). Le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) est l'un de ces gaz à effet de serre émis par plusieurs types d'industries utilisant la combustion d'hydrocarbures. Plus du tiers des émissions de CO<sub>2</sub> dans le monde est produit par des sources concentrées (centrales thermiques, cimenteries, raffineries...) qui vont encore continuer à utiliser des combustibles fossiles dans les prochaines années (IPCC, 2005).

Dans ce contexte, le captage et le stockage du CO<sub>2</sub> (CSC) représente une solution potentielle à court-moyen terme pour réduire les émissions anthropiques de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère (Bachu, 2003; IPCC, 2005; IEA, 2008). En effet, la technologie pour stocker du CO<sub>2</sub> dans les réservoirs de gaz et de pétrole ainsi que dans les aquifères salins profonds est maintenant prête à être appliquée dans le contexte du CSC (Bachu, 2008). À l'échelle mondiale, la recherche de sites potentiels pour le stockage géologique du CO<sub>2</sub> va bon train dans les bassins sédimentaires déjà connus pour la qualité de leurs réservoirs géologiques. La première étape de ces recherches consiste à identifier les bassins offrant un potentiel adéquat pour le stockage géologique du CO<sub>2</sub> et d'en déterminer leur capacité de stockage.

### 1.1. Choix du bassin pour les calculs de capacité de stockage de CO<sub>2</sub>

L'analyse du potentiel des bassins sédimentaires du sud du Québec pour le stockage géologique du CO<sub>2</sub> a démontré que le bassin des Basses-Terres du Saint-Laurent est celui qui offre le potentiel le plus intéressant et qu'il est le bassin à prioriser pour les études plus poussées (Bédard *et al.*, 2011; Malo et

Bédard, 2012; Trần Ngọc *et al.*, 2012). Ce rapport représente l'étape suivante de notre démarche, c'est-à-dire évaluer la capacité effective de stockage du bassin. L'objectif de cette étape est de déterminer si le bassin offre une capacité de stockage intéressante pour le stockage du CO<sub>2</sub> et, si oui, quels sont les régions à cibler pour des analyses plus poussées.

#### 1.1.1. Critères favorables pour le stockage géologique du CO<sub>2</sub> dans les Basses-Terres du Saint-Laurent

Couvrant un territoire d'environ 20 000 km<sup>2</sup>, le bassin des Basses-Terres du Saint-Laurent se montre favorable pour la plupart des critères d'analyse du potentiel des bassins sédimentaires pour le stockage géologique du CO<sub>2</sub> (Bédard *et al.*, 2011).

En effet, le bassin est relativement peu déformé, les roches-réservoirs et roches-couverture sont connues et elles se trouvent à des profondeurs adéquates de 800 à 3500 mètres dans la majeure partie du bassin. Grâce à une exploration pétrolière et gazière active dans le bassin depuis les années 1930, plusieurs données géologiques sont disponibles (dont des profils sismiques et plus de 250 puits) (Figure 1) permettant ainsi l'interprétation du bassin en profondeur. De cette manière, il est possible d'évaluer la géométrie des unités à l'échelle du bassin et donc d'en estimer leur volume. Une fois cette étape réalisée, il devient ensuite possible de calculer des capacités de stockage du CO<sub>2</sub>.

Finalement, plusieurs grands émetteurs de CO<sub>2</sub> sont situés directement à la surface du bassin, principalement entre Québec et Montréal (Figure 2). D'après les données d'Environnement Canada (2009), les grands émetteurs de CO<sub>2</sub> émettent environ 20 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> par année au Québec, ce qui permet de croire qu'il y aurait des possibilités de captage du CO<sub>2</sub> à peu de distance des réservoirs potentiels de stockage.

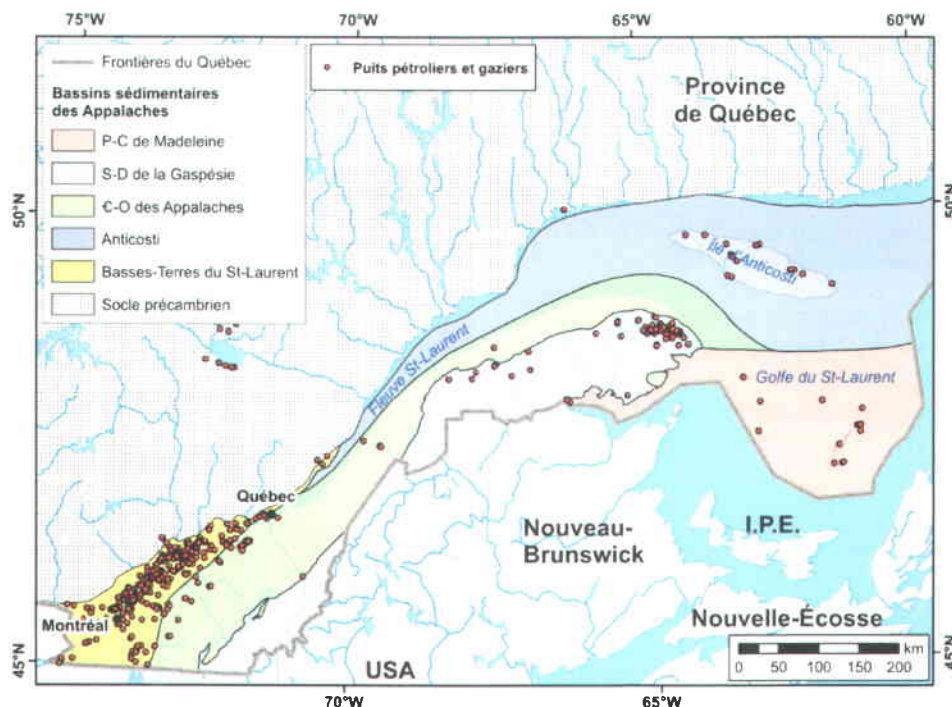


Figure 1 – Carte des bassins sédimentaires du sud du Québec et de l'ensemble des puits pétroliers et gaziers forés sur le territoire. P-C : permo-carbonifère. S-D : siluro-dévonien. C-O : cambro-ordovicien.

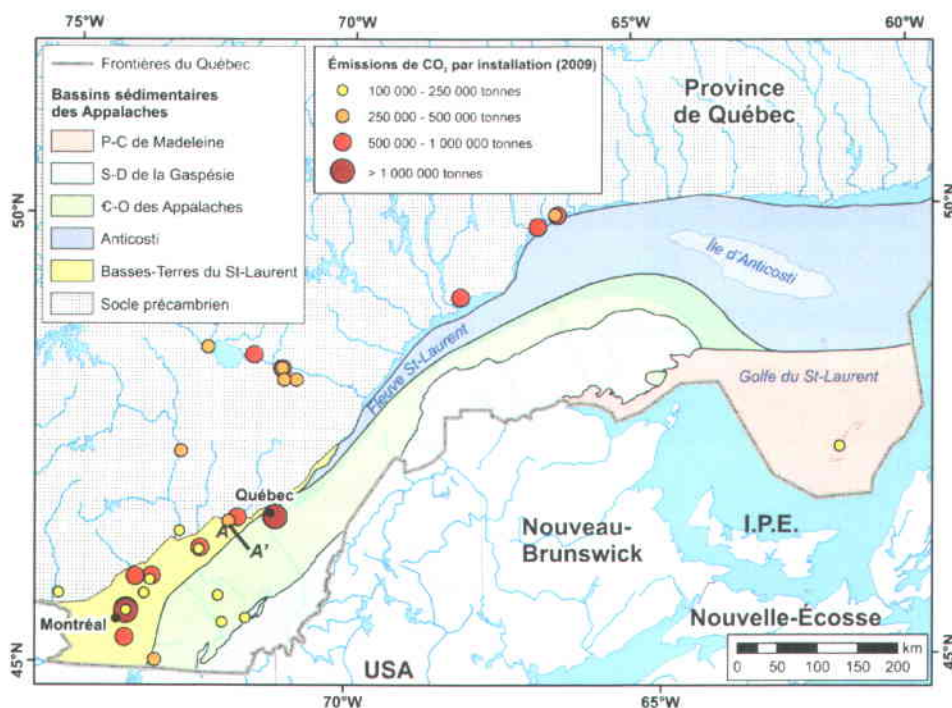


Figure 2 – Carte des bassins sédimentaires du sud du Québec et des émissions de CO<sub>2</sub> par installation industrielle en 2009. P-C : permo-carbonifère. S-D : siluro-dévonien. C-O : cambro-ordovicien. Source des données pour les émissions de CO<sub>2</sub> : Environnement Canada (2009). La ligne A-A' localise la ligne sismique M-2001 (Figure 4).

## 1.2. Géologie du bassin des Basses-Terres du Saint-Laurent

Le bassin des Basses-Terres du Saint-Laurent est localisé dans le sud-ouest du Québec (Figure 1 et Figure 3). Il est limité par le socle précambrien de la Province de Grenville au nord-ouest et par le bassin cambro-ordovicien des Appalaches au sud-est. Des failles normales de direction SO-NE affectent la succession et le bassin devient plus profond vers le sud-est et se prolonge sous le bassin cambro-ordovicien des Appalaches (Castonguay *et al.*, 2010). La faille de Logan sépare le bassin des Basses-Terres du Saint-Laurent et celui des Appalaches, où les roches de la plate-forme se retrouvent imbriquées sous forme d'écaillés de chevauchement. La Figure 4 montre l'architecture du bassin basée sur l'interprétation de la ligne sismique M-2001 de SOQUIP.

La succession de la plate-forme sédimentaire cambro-ordovicienne des Basses-Terres du Saint-Laurent a une épaisseur jusqu'à plus de 3000 mètres et repose en

discordance sur le socle précambrien du Bouclier canadien (Globensky, 1987). Les roches réservoirs potentielles sont celles des grès du Groupe de Potsdam, des dolomies du Groupe de Beekmantown et des calcaires des groupes de Chazy, de Black River et de Trenton, tandis que les roches silicoclastiques à grains fins des groupes du Shale d'Utica, de Sainte-Rosalie et de Lorraine sont considérées comme des roches-couverture (Figure 5).

Dans le cadre de l'étude des capacités de stockage du bassin, seules les roches autochtones de la plate-forme sont modélisées et évaluées. Les roches des écaillés de chevauchement ne sont donc pas incluses dans les calculs car la modélisation de leur géométrie est trop complexe pour en évaluer des volumes et l'on ne possède que trop peu de données à l'échelle du bassin. De plus, les analyses sont effectuées sur l'unité principalement calcaire regroupant les groupes de Trenton, de Black River et de Chazy, sur les formations de Beauharnois et de Theresa du Groupe de Beekmantown et sur les formations de Cairnside et de Covey Hill du Groupe de Potsdam.

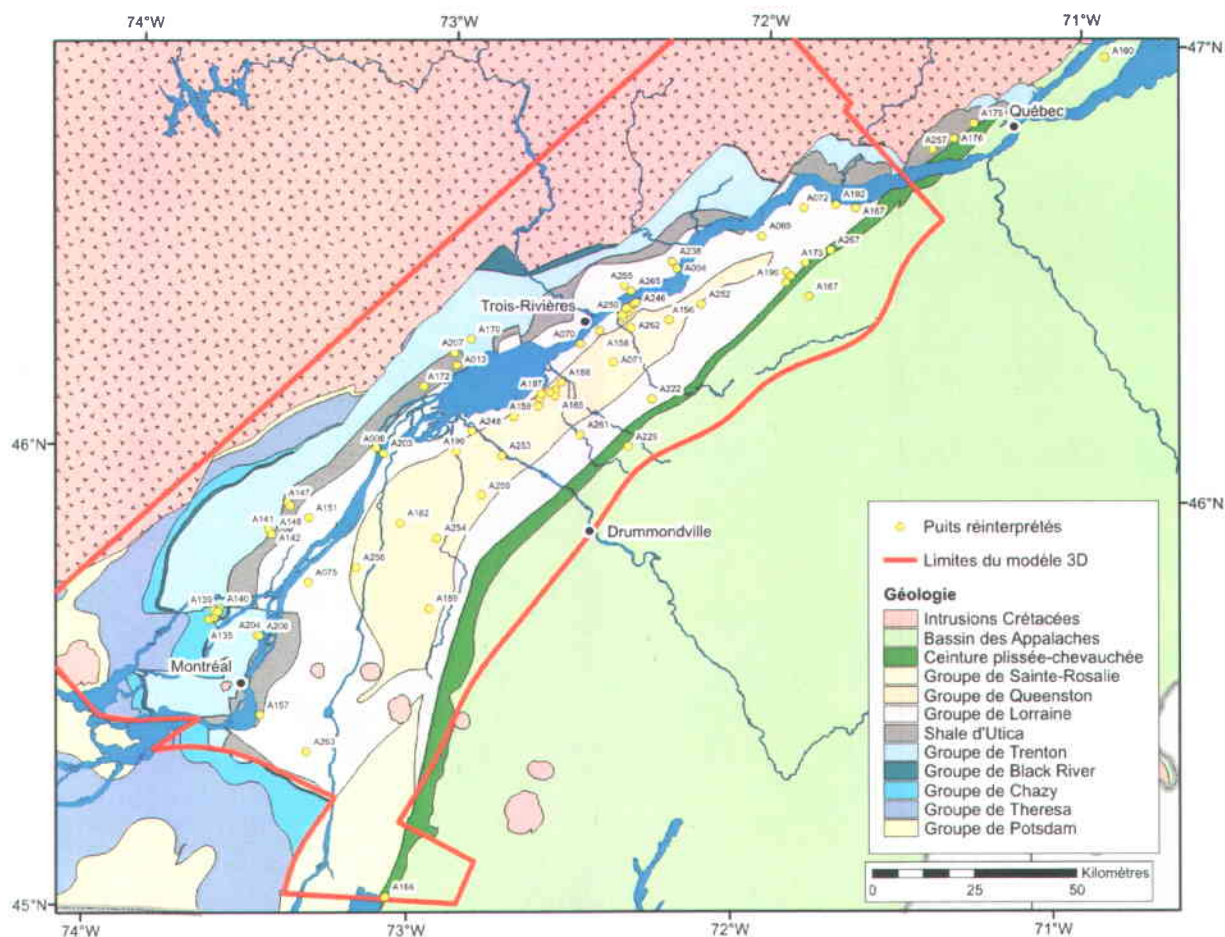


Figure 3 – Carte géologique du sud-ouest du Québec (adaptée de Système d'information géoscientifique pétrolier et gazier (SIGPEG), 2008). Localisation des puits réinterprétés et limites du modèle géologique 3D.